

# Wetenschap op een nieuwe leest

Informatie- en communicatietechnologie in de sterrenkunde

Dit artikel gaat niet over een nieuwe astronomische ontdekking en ook niet over een nieuwe telescoop of satelliet. In dit artikel komt de astronoom zelf aan bod en kijken we naar de manier waarop hij/zij zijn/haar werk doet. Daar is de laatste jaren nogal wat in veranderd, vooral onder invloed van ontwikkelingen in de informatie- en communicatie-technologie.

Begin deze eeuw hadden de sterrenkundigen hun zaakjes aardig voor elkaar. Voor het bedrijven van hun vak hadden ze alles bij de hand: een bibliotheek om literatuurstudie te doen; archiefkasten met kaarten en glasplaten; telescopen op het dak en spectrografen in de kelder om waarnemingen te doen; densitometers en andere instrumenten om fotografische platen uit te meten; wetenschappelijk rekenaars om te assisteren bij het uitwerken van berekeningen; potlood en papier om theorie te bedrijven, wetenschappelijke artikelen te schrijven en correspondentie met collega's te voeren; en een collegezaal met een schoolbord en een aanwijsstok voor onderwijs aan studenten. De oude Utrechtse sterrenwacht 'Sonnenborgh', waar nu stichting 'De Koepel' is gevestigd, en de oude Leidse sterrenwacht waren op deze manier ingericht. In de loop van de eeuw verwaterde deze bijna ideale situatie door een aantal ontwikkelingen. Steeds grotere telescopen werden in internationale samenwerkingverbanden op de beste locaties opgericht. Te beginnen bij astronomische satellieten werden waarneemgegevens in toenemende mate digitaal opgeslagen in gespecialiseerde archieven. Door de rationalisering

van het 'wetenschappelijk bedrijf' in de jaren tachtig verhuisden veel sterrenkundige instituten van hun traditioneel ingerichte sterrenwacht naar moderne universiteitscomplexen, waar hun huisvesting zich in niets onderscheidt van een doorsnee bedrijfskantoor. Kortom, de activiteiten van de sterrenkundige speelden zich niet meer op één plaats af, maar raakten verspreid over verschillende locaties.

Informatie- en communicatietechnologie Sinds een paar jaar echter komen de activiteiten van de wetenschapper weer op één plaats bijeen, namelijk in de computer op zijn werkplek. Waar aanvankelijk de computer alleen voor echte rekentaken werd ingezet, zijn door recente ontwikkelingen in de informatie- en communicatietechnologie (ICT) toepassingen beschikbaar gekomen voor alle activiteiten van de astronoom. ICT omvat het geheel van computerhardware, -software en -netwerken. Dit heeft de afgelopen jaren zo'n grote vlucht genomen, dat het er nauwelijks meer toe doet op welke plaats ter wereld de informatie zich bevindt die men nodig heeft of zoekt, terwijl grafische interfaces de toegang tot en het manipuleren met gegevens aanmerkelijk hebben vereenvoudigd.

De elektronische editie van *The Astrophysical Journal*. Deze is toegankelijk via het World Wide Web, en met een browser zoals Netscape kan men de inhoudsopgave raadplegen (linker venster). Het eigenlijke artikel kan men vervolgens raadplegen met de Acrobat Reader. De weergave van een artikel op het scherm is exact gelijk aan de layout van de gedrukte editie (rechter venster). Van een artikel kan men een kwalitatief hoogwaardige afdruk maken op de lokale laserprinter.

Sake J. Hogeveen  
Sterrenkundig Instituut,  
Universiteit Utrecht

In het vervolg van dit artikel gaan we na welke voorzieningen de astronoom tegenwoordig ten dienste staan. We volgen daarbij de werkwijze van de wetenschapper wanneer deze een nieuw onderzoek opzet: literatuurstudie, archiefonderzoek, waarnemingen, gegevensverwerking, theorie- en modelvorming, publiceren, samenwerken en onderwijs. Uit ieder facet geven we een paar voorbeelden: er zijn inmiddels te veel voorzieningen om ze in een artikel als dit allemaal te kunnen behandelen.

Voor we van start gaan een opmerking over de toegankelijkheid. De meeste voorzieningen zijn te benaderen via het World Wide Web, en meestal is algemene informatie vrij toegankelijk voor het grote publiek. De eigenlijke astronomische diensten zijn soms vrij toegankelijk voor iedereen – wat erg leuk en leerzaam kan zijn voor de belangstellende leek of de amateurastronoom – maar soms alleen toegankelijk voor professionele sterrenkundigen, omdat voor diensten moet worden betaald of omdat de voorziening maar een beperkt aantal gebruikers tegelijk aan kan.

Literatuur Nieuw onderzoek staat vrijwel nooit op zichzelf. Altijd is er een aanleiding: een onverwachte nieuwe waarneming of eerder onderzoek van anderen. In alle gevallen pleegt de astronoom een gedegen literatuuronderzoek, om te zien of daar aanknopingspunten zijn voor de verklaring van de nieuwe waarneming of dat wellicht iemand anders al op de ideeën is gekomen waar hij mee rondloopt. Want als er één ding is waar je het bij je collega's mee kunt verbruken is dat met onderzoek dat al door iemand anders is gedaan. Om van de belastingbetaler nog maar te zwijgen.

Als het gaat om waarnemingen bestaat er in de sterrenkunde een unieke bibliografische voorziening: Simbad. In deze gegevensbank zijn nagenoeg alle hemelobjecten opgenomen die ooit in de literatuur zijn genoemd of beschreven. Simbad is daarmee een belangrijke bron om te zien of nieuwe waarnemingen in verband kunnen worden gebracht met eerdere. Simbad wordt onderhouden door het Centre de Donnees astronomiques de Strasbourg in Frankrijk, en was een van de eerste serieuze online-voorzieningen in de sterrenkunde.

Als een wetenschapper voortborduurt op het werk van anderen of een andere, naar zijn idee betere verklaring voor een verschijnsel wil geven, wordt van hem verwacht dat hij zeer goed op de hoogte is van wat er zich in dat gebied van onderzoek afspeelt. Dat betekent dat hij bekend verondersteld

wordt met de literatuur. Een belangrijke voorziening op dit gebied is de ADS *abstract service*. Hierin zijn de samenvattingen van artikelen uit de belangrijkste tijdschriften bijeen gebracht, over de periode van 1975 tot nu. Je kunt in de *abstract service* zoeken op titel, auteur en onderwerp.

Als een astronoom in de *abstract service* heeft gevonden wat hij zoekt, moet hij in de meeste gevallen naar de bibliotheek van zijn instituut om daar het nummer van het tijdschrift uit de kast te pakken waar het artikel dat hij zoekt in is afgedrukt. Een paar jaar geleden begon de American Astronomical Society (AAS) te onderzoeken of ook de artikelen zelf in elektronische vorm beschikbaar konden worden gesteld. Dat heeft geresulteerd in de elektronische editie van *The Astrophysical Journal*, het tijdschrift dat onder auspiciën van de AAS wordt uitgegeven. Inmiddels zijn daar de online edities van *Astronomy and Astrophysics Supplement Series* en *New Astronomy* bijgekomen. En achter de schermen wordt hard gewerkt aan een elektronische editie van het Europese *Astronomy and Astrophysics*, waarvan voorlopig alleen de samenvattingen online via de *abstract service* van het CDS toegankelijk zijn.

De elektronische edities van wetenschappelijke tijdschriften zijn mogelijk geworden door de ontwikkeling van het World Wide Web en van het *Portable Document Format*, PDF. Via het WWW is informatie die zich heel ergens anders bevindt gemakkelijk toegankelijk geworden met Web browsers ('to browse' = bladeren) als de Microsoft Internet Explorer en de Netscape Navigator. Elektronische documenten die zijn opgemaakt in het PDF laten zich 'interactief' lezen met de Adobe Acrobat Reader. Met het grootste gemak maakt men van zo'n artikel een afdruk op de dichtstbijzijnde laser printer. De kwaliteit van zo'n afdruk is aanmerkelijk hoger dan die van de kopieën waar de meeste wetenschappers in de dagelijkse praktijk mee werken.

Publiceren in een wetenschappelijk tijdschrift is 'traag': er gaat al gauw een paar maanden overheen voor een manuscript in druk verschijnt en bij collega-wetenschappers op het bureau belandt. Een wetenschapper schrijft zijn artikel dan weliswaar met een tekstverwerker, en de uitgever kan het zo in de elektronische zetmachine voeren, maar er komt altijd nog het menselijke oordeel van een *referee* aan te pas om vast te stellen of het werk van voldoende wetenschappelijk niveau is om in een tijdschrift te worden opgenomen. Omdat collega's vanwege de voortgang van het onderzoek niet zo lang kunnen wachten,

stuurt men elkaar *preprints* ('voor-drukken') van artikelen zoals die in tijdschriften zullen worden opgenomen. Het kon niet uitblijven: ook het rondsturen van preprints gebeurt elektronisch. Paul Ginsparg, een fysicus verbonden aan de Los Alamos National Laboratories in New Mexico in de V.S., heeft een preprint-service opgezet voor natuurkundige publicaties, waaronder de astrofysica. De LANL e-Prints zijn in de natuurkunde een begrip geworden, en het met het onderhoud ervan zijn inmiddels een paar krachten de hele dag druk, die betaald worden uit een subsidie van de National Science Foundation. In Europa is een kopie van de LANL e-Prints opgezet door de International School for Advanced Studies in Trieste in Italië.

Oorspronkelijk werden (gedrukte) preprints in beperkte kring rondgestuurd. Door verspreiding via de LANL e-Prints zijn manuscripten in één klap toegankelijk voor iedereen met een aansluiting op Internet. Dat is een fundamenteel verschil, en betekent in zekere zin concurrentie voor de gevestigde uitgevers. Maar dat is ook de bedoeling van Paul Ginsparg, die uitgesproken ideeën heeft over wetenschappelijke kennis en de manier waarop die verspreid zou moeten worden.

De sterrenkundige gemeenschap kent een uniek fenomeen om iedereen snel op de hoogte te stellen van nieuwe ontdekkingen: de *IAU Circulars and Telegrams*. Oorspronkelijk waren dit minuscule kaartjes die via luchtpost naar alle geabonneerde sterrenkundige instituten werden verstuurd. Dat gebeurt nog steeds op die manier, maar het is nu ook mogelijk de 'telegrammen' per elektronische post toegestuurd te krijgen en het archief van oudere telegrammen online te doorzoeken. Sterrenkunde is niet het enige vak waarin de wetenschappelijke informatievoorziening 'digitaliseert'. Ook in belendende vakgebieden, zoals in de natuurkunde, is dat het geval. Een globaal overzicht van wat er voor verschillende vakgebieden aan elektronische voorzieningen beschikbaar is wordt gegeven door de *World Wide Web Virtual Library*, W3VL.

## Archieven

Na de literatuurstudie volgt het ar-

The screenshot displays the Simbad Query Form and Result pages. The top window, titled 'Simbad: Query by identifier, coordinates or bibcode', contains a search form with fields for 'Enter an identifier, coordinates or a reference code', 'Examples: Sirius, M 31, J2 30 45 +10 20, 1996A&A.305.33K', and 'How to write an identifier can be found in the dictionary of nomenclature'. Below the form are checkboxes for 'SIMBAD database' and 'bibliographic server', and a field for 'For identifiers, you can choose to query' with a dropdown menu. The bottom window, titled 'Simbad: Query Result', shows the results for the query 'HD 193237'. It includes a table of coordinates (J2000.0, J1950.0, Galactic), spectral type (B2pe), and a list of references (e.g., LAMERS H.J.G.L.M., NAJARRO F., KUDRITZKI R.P., MORRIS P.W., VOORS R.H.M., VAN GENT J.J., WATERS L.B.F.M., DE GRAAUW T., BEINFELD D., VALENTIN E.A., HILLIER D.J.).

De user interface van Simbad. Van linksboven met de klok mee: in het eerste venster geven we als object P Cygni op. Simbad presenteert dan (in het tweede venster) een aantal algemene gegevens, zoals coördinaten, eigenbeweging, magnitudes, spectraaltipe, een lijst van (26!) namen waaronder P Cygni in diverse catalogi bekend is, een lijst van waarnemingen van P Cygni in diverse 'standaardcatalogi', en literatuurverwijzingen naar 268 referenties. Het derde venster geeft een deel van die lijst weer, en het vierde venster toont de samenvatting van één van die artikelen. Verder gaat het op dit moment nog niet: met uitzondering van *The Astrophysical Journal* is de volledige tekst van de artikelen is nog niet in elektronische vorm beschikbaar. We hebben niet toevallig gekozen voor een artikel van professor Lamers van het Sterrenkundig Instituut Utrecht: in december 1996 vierde hij de publicatie van zijn 250ste wetenschappelijke artikel, een feit waarmee we hem vanaf deze plaats nog hartelijk feliciteren!

chiefonderzoek. Veel waarnemingen zijn verwerkt in catalogi van sterrenkundige objecten of opgeslagen in het archief van een bepaald instrument. Vroeger waren dat bijvoorbeeld glasplaten van Schmidt-camera's of spectrografen. Maar tegenwoordig zijn dat digitale gegevens van CCD-camera's en andere elektronische instrumenten van telescopen op de grond of aan boord van satellieten.

Een goed uitgangspunt voor archiefonderzoek is opnieuw Simbad. Deze database geeft voor ieder object aan de hemel een aantal basisgegevens, zoals positie, eigenbeweging en magnitudes, en daarbij een overzicht van catalogi en archieven die gegevens van waarnemingen van dat object bevatten. Maar Simbad weet niet alles. Vooral van de grote op de grond gestationeerde observatoria en van astronomische satellieten vind je weinig of niets in Simbad terug. Voor de *mission logs*, de overzichten van waarnemingen van satellieten, kun je terecht bij *Vizier*, een gegevensbank van astronomische catalogi, opgezet in een drachtige samenwerking tussen het CDS en de *Information Systems Division* van ESRIN, een onderdeel van het European Space Agency (ESA). Wil je als astronoom echt het naadje



van de kous weten, dan moet je bij het archief van de betreffende telescoop zelf zijn. Bijvoorbeeld bij het ESO/STECF Archive, waar waarnemingen van de ESO telescopen in Chili worden gearchiveerd en, ten behoeve van de Europese astronomen, de waarnemingen van de Hubble-ruimtetelescoop.

Er zijn veel meer catalogi en archieven online toegankelijk dan we hier kunnen behandelen. In de Verenigde Staten bijvoorbeeld hebben ze een eigen 'CDS': het *Astrophysics Data System* (ADS) dat ook toegang geeft tot een collectie catalogi en archieven. CDS en ADS werken steeds nauwer samen. In Canada hebben ze een eigen *Canadian Astronomical Data Center*, het CADC. Hier is een 'kopie' van het archief van de Hubble-telescoop te vinden, evenals het archief van de Canada-France-Hawaii Telescope.

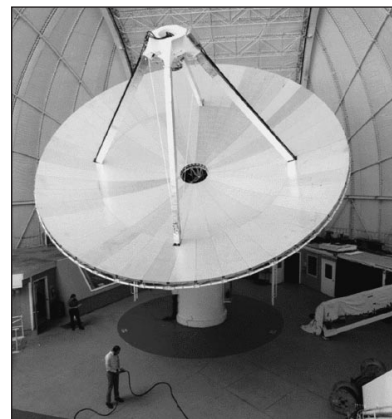
Een centrum met catalogi en archieven dat niet onvermeld mag blijven is het *High Energy Astrophysics Science Archive Research Center* (HEASARC). Dit centrum biedt toegang tot de archieven van satellieten met aan boord instrumenten voor het waarnemen van 'hoog energetische astrofysische processen' zoals ASCA, Compton, Rosat, RXTE en vele andere 'missies'. Maar dat is niet alles, het centrum biedt ook faciliteiten voor het verwerken van de waarneminggegevens, terwijl men er tevens voorstellen voor waarnemingen kan indienen. Afgezien van de vormgeving, die voor een wetenschappelijke instelling hier en daar wat overdadig mag heten, kan de HEASARC Web-site als voorbeeld dienen voor andere wetenschappelijke instellingen: naast informatie die direct betrekking heeft op de eigenlijke taak van het centrum biedt het ook infor-

matie voor het algemene publiek en het onderwijs.

## Waarnemingen

Als de astronoom na grondig literatuuronderzoek en het grasduinen in archieven besluit dat de gegevens die hij nodig heeft voor zijn onderzoek niet voorhanden zijn, moeten er nieuwe waarnemingen worden gedaan. Dat is geen eenvoudige zaak: eerst moet worden bepaald welk instrument van welk observatorium zich het best voor de waarneming leent. Als dat bekend is, moet er een waarnemingvoorstel worden ingediend. Dat voorstel wordt beoordeeld door een commissie die het betreffende observatorium of instrument beheert en besluiten neemt over de verdeling van de beschikbare waarnemingsuren. Zo'n commissie gaat niet alleen na of hun telescoop inderdaad het meest aangewezen instrument is om de waarneming te doen, maar geeft ook een oordeel over het wetenschappelijk belang van de waarneming: voegt die wel iets wezenlijks toe aan 'de sterrenkunde'?

Het kon niet uitblijven: ook het indienen van waarnemingvoorstellen gaat tegenwoordig elektronisch. Bijvoorbeeld voor ISO en SAX, astronomische satellieten waar Nederland via de Stichting RuimteOnderzoek Nederland een belangrijk aandeel in heeft. Via het World Wide Web is informatie verkrijgbaar over de waarnemingsinstrumenten en de procedures die bij het indienen van voorstellen gevolgd worden. Het programma gaat bovendien direct na of de voorgestelde waarneming wel mogelijk is: staat het object wel boven de horizon, kijkt het instrument niet recht in de zon, naar de maan of dwars door de aarde? Als het waarnemingvoorstel zulke fouten bevat,



De 12 meter radiotelescoop van het National Radio Astronomy Observatory in Tucson, Arizona, in de V.S. Deze radiotelescoop kan via Internet op afstand worden bediend: in principe vanaf iedere plaats op aarde. (Foto: Tom Folkers/NRAO)

wordt de aspirant-waarnemer daar direct op gewezen, zonder tussenkomst van de beoordelingscommissie.

Ook andere observatoria kennen *online* voorzieningen voor het indienen van waarnemingvoorstellen. Als je waarnemingen wilt doen met de radiotelescopen in Dwingelo en Westerbork, kun je voor de nodige informatie en formulieren bij Astron terecht. Astron, in het buitenland beter bekend als de *Netherlands Foundation for Research in Astronomy* (NFRA) is voor Nederlandse astronomen ook de plaats om waarnemingvoorstellen in te dienen voor de telescopen op La Palma en Hawaï waarin Nederland deelneemt: de William Herschel, Isaac Newton, Jacobus Kapteyn en James Clerk Maxwell telescopen.

Als je waarnemingvoorstel gehonoreerd wordt, is het natuurlijk wel spannend om bij te houden wat ermee gebeurt. Sommige observatoria kennen voor-

Het HST-archief van de Space Telescope European Coordinating Facility. Het eerste paneel geeft een preview van een ruwe, onbewerkte waarneming die met de Wide Field Planetary Camera werd gedaan van Jupiter, in het kader van de inslag van de komeet Shoemaker-Levy 9. Het tweede paneel geeft een overzicht van de belangrijkste gegevens van de waarneming, waaronder een samenvatting van de wetenschappelijke verantwoording.

Netscape: HST Proposals and Abstracts

File Edit View Go Bookmarks Options Directory Window Help

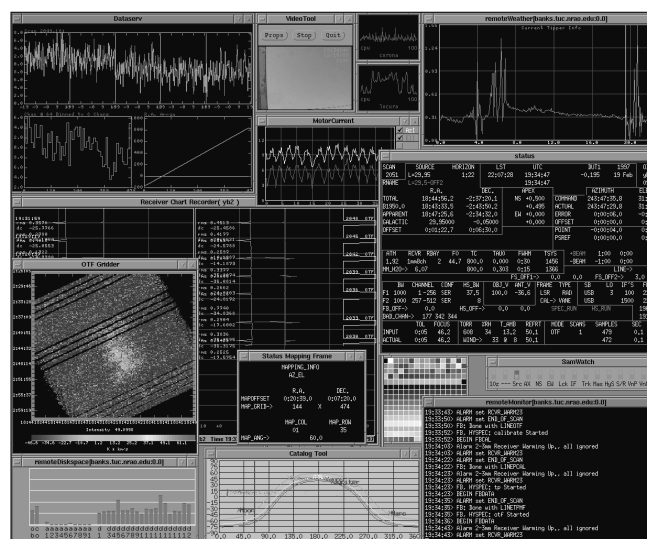
Back Forward Home Edit Reload Images Open Print Find Stop

**HST Proposals and Abstracts**

Define new query Home

**CYCLE 4 DD HST OBSERVATIONS OF COMET SHOEMAKER-LEVY (1993E) FOR MAY 1994**

<b>Keywords</b>	
<b>PI Lastname</b>	WEAVER
<b>PI Institute</b>	STSCI
<b>PI Country</b>	USA
<b>Prop Type</b>	GO/DD
<b>Sci Category</b>	SOLAR SYSTEM COMETS
<b>Id</b>	5640
<b>Cycle</b>	4
<b>Priority</b>	
<b>Status</b>	completed
<b>Abstract</b>	Comet Shoemaker-Levy (1993E) is a comet that has recently broken up into many fragments, apparently somewhere in the vicinity of Jupiter. Ground-based observations reveal a string of sub-nuclei spaced over a distance of about one arcminute. HST observations of this object with the WFPC-2 should reveal a fascinating spatial morphology that is more detailed than any images obtained from ground-based telescopes. Most importantly, WFPC-2 images of 1993E should allow us to refine the nuclear size estimates that were originally estimated from WFPC-1 HST observations in July 1993. This proposal is for the May 1994 observations.
<b>Exposures</b>	<a href="#">Exposures</a>
	Search for similar HST proposals:
<b>Similar</b>	



de waarneming langzaam vormt. Elders op het scherm ('video tool') is een klein zwart-wit beeld te zien van de hemel boven Kit Peak in Arizona. Het is afkomstig van een eenvoudige videocamera. Zo kan de waarnemende astronoom letten op eventuele opkomende bewolking. Hij kan ook het beeld van een andere camera oproepen, waarmee hij de ruimte waarin de telescoop is opgesteld en ook de telescoop zelf kan bekijken. (Foto: Tom Folkers/NRAO)

Het beeldscherm van de astronoom die vanachter het bureau op zijn eigen instituut, waar ook ter wereld, waarnemingen doet met de 12 meter telescoop van het NRAO. Van alles waar op gelet moet worden wordt op het scherm weergegeven. Linksonder is het radioplaatsje van een deel van de melkweg te zien zoals zich dat tijdens

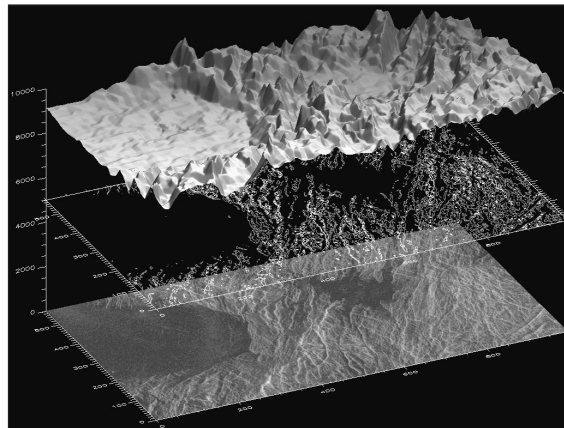
zeningen om van een afstand mee te kijken als je waarneming gedaan wordt. Voor de ESO-telescopen in Chili bijvoorbeeld kun je voortdurend op de hoogte blijven van de actuele weersituatie en een overzicht krijgen van het waarnemingsprogramma. Echt op afstand waarnemingen doen en de ontwikkelingen volgen is iets waar men bij ESO nog volop aan werkt. Proeven met *remote control* zijn bijvoorbeeld gedaan met de *New Technology Telescope*. Een waarnemer hoeft dan niet meer helemaal naar Chili te reizen, maar kan volstaan met een treinretour naar Garching bij München.

Remote control waarnemingen zijn al wel mogelijk met bijvoorbeeld de 12-m radiotelescoop van het National Radio Astronomy Observatory in Tucson, Arizona (V.S.). Vereist is wel dat je een (radio)astronoom bent, en dat ze je kennen in Tucson, anders krijg je geen toegang tot hun computersysteem....

Bij een astronomische satelliet mag je als astronoom/indieners van een waarnemingsvoorstel helemaal niet meer zelf aan de telescoop zitten. Je hele waarneming wordt voorbereid door technici en astronomen die met het instrument bekend zijn, en computergestuurd uitgevoerd. Bij de Hubble-ruimtetelescoop bijvoorbeeld kun je dan alleen maar afwachten, en via een Web-pagina hooguit de status van je waarneming opvragen.

## Gegevensverwerking

Als de waarnemingen zijn gedaan, keert de astronoom naar z'n instituut terug met de gegevens opgeslagen op een DAT-tape, een CD-ROM, of een ander opslagmedium. Digitale gegevens worden digitaal verwerkt tot tabellen, grafieken of plaatjes die door de astrofysicus geïnterpreteerd en – hopelijk – begrepen kunnen worden. Dat digitaal verwerken vindt plaats door middel van speciale computerprogramma's. In de loop van de jaren zijn enkele van die programma's uitgegroeid tot 'standaardpakketten' die kunnen worden gebruikt voor het uitwerken van waarnemingen van verschillende categorieën instrumenten in verschillende golflengtegebieden. Zo zijn er voor de verwerking van waarnemingsgegevens van radiotelescopen de pakketten AIPS en Newstar (de laatste met name voor Westerbork-gegevens). AIPS en Newstar staan op het punt vervangen en aangevuld te worden door AIPS++. Dit pakket wordt door vrijwel alle observatoria voor radiosterrenkunde gezamenlijk ontwikkeld, in een eendracht die in de wetenschap zelden wordt vertoond. Infrarood- en optische waarnemingen kunnen worden verwerkt met IRAF of



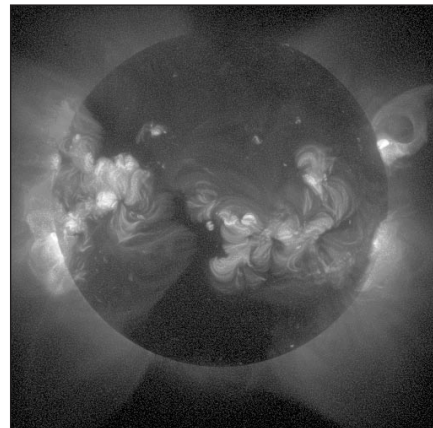
Deze radarbeelden van Venus zijn opgenomen door de Magellan-ruimtesonde en bewerkt met IDL. (Foto: Jet Propulsion Laboratory, NASA)

MIDAS, terwijl waarnemingen van UV-, röntgen- en gammastraling worden verwerkt met het Xanadu-pakket of SPEX.

Met de standaard softwarepakketten kan de astronoom alleen die bewerkingen op de meetgegevens uitvoeren die door de makers van de betreffende software zijn voorzien. Maar in de wetenschap gaat het voortdurend om nieuwe dingen, en zo wil een astronoom soms informatie uit waarnemingen halen waarvoor de standaardbewerkingen niet toereikend zijn. Hij moet dan zelf gaan programmeren, bijvoorbeeld in de bekende programmeertalen Fortran of C++. Steeds vaker echter nemen astronomen hun toevlucht tot programmeertalen met meer mogelijkheden zoals IDL, de *Interactive Data Language*. Hierin zijn voor veel zaken, die de astronoom anders zelf zou moeten programmeren, voorgekookte oplossingen aanwezig. Voor het weergeven van de resultaten van de berekeningen zijn uitgebreide visualisatie mogelijkheden ingebouwd waarmee beelden in kleur en met perspectief kunnen worden geproduceerd. Ook is het mogelijk 'filmpjes' of animaties van in de tijd veranderende processen te maken. Ooit door de NASA als eerste in gebruik genomen is het nu een veelgebruikt pakket in de sterrenkunde. Dat heeft onder meer geleid tot de vorming van een uitgebreide bibliotheek van astronomische algoritmen (de *IDL Astronomy User's Library*): goed uitgeteste rekenschema's voor veel voorkomende astronomische deelproblemen.

## Theorie- en modelvorming

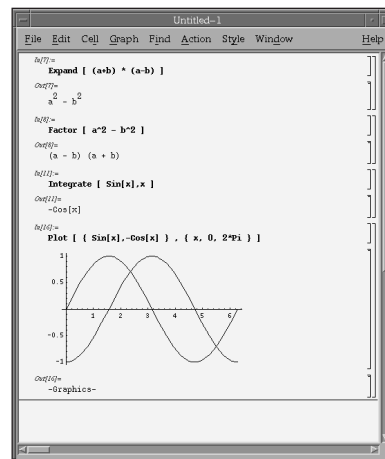
Na het uitwerken van de waarnemingen volgt het theoretiseren en de modelvorming. Over de waarnemingen wordt nagedacht en bekeken hoe ze ingepast kunnen worden in ons begrip van de wereld, in termen van de fundamentele natuurkunde. Vaak streeft men ernaar het hele waargenomen



Met IDL bewerkt en geproduceerd röntgenbeeld van de zon. De opnamen werden gemaakt met de Japanse satelliet Yohkoh. (Foto: Lockheed Solar and Astrophysics Laboratory).

fenomeen in natuurkundige en wiskundige formules te vatten. Zoiets heet dan een wiskundig of een numeriek model. In rekenen zijn computers vanaf het begin goed geweest en ze werden al vroeg ingezet voor het maken van numerieke, dat wil zeggen: getalsmatige, modellen. De numerieke wiskunde heeft zich tot een specialisme ontwikkeld, waarin voor veel voorkomende deelproblemen goed uitgewerkte 'standaard' oplossingen zijn bedacht. Voor hun onderzoek putten astrofysici veel uit zulk werk, dat is te vinden in bijvoorbeeld de *Numerical Recipes* en de NAG-bibliotheek. De *Numerical Recipes* zijn verzameld en bewerkt door een groep astronomen, en worden tegen kostprijs beschikbaar gesteld. De *Numerical Algorithms Group* is een commerciële onderneming, wat aan de prijs goed te merken is.

De computer kan tegenwoordig echter niet alleen meer met getallen rekenen, maar ook met wiskundige formules. De wiskunde kent een aantal deelgebieden, zoals algebra en calculus of infinitesimaalrekening. Omdat de problematiek voor ieder deelgebied van een andere aard is, zijn verschillende computerprogramma's ontwikkeld die ieder op hun gebied maximaal presteren. Voorbeelden zijn *Maple*,



De user interface van Mathematica, een computerprogramma waarmee wiskunde kan bedrijven. In het venster zijn te zien: de uitwerking van de beroemde algebraïsche uitdrukking  $(a+b)(a-b) = a^2 - b^2$ ; de integraal van  $\sin x = -\cos x$ ; en de grafieken van  $\sin x$  en  $-\cos x$ .



*Macsyma*, en *Reduce*, maar er zijn nog vele andere. Er is een programma dat heel behoorlijk presteert in vrijwel alle gebieden van de wiskunde, en dat is *Mathematica*. Op een aantal universiteiten is het leren werken met *Mathematica* onderdeel van het lesprogramma. Overigens vindt hier binnen de universitaire wereld dezelfde discussie plaats als bij de invoering van de rekenmachine in het middelbaar onderwijs: men is bang dat de studenten met *Mathematica* wiskunde doen zonder te begrijpen wat er gebeurt. Maar zulke discussies worden al gevoerd sinds de oude Grieken, waaronder er ook al waren die dachten dat de hersens van de mensen verweken als ze dingen gaan opschrijven... Feit is dat als je je wiskunde beheerst, je met programma's als *Mathematica* aanzienlijk sneller oplossingen voor problemen kunt vinden. In de programma's zijn hele bibliotheken van standaardintegralen en -differentiaal opgeslagen en manipuleren met formules kunnen ze stukken sneller dan de meeste menselijke wiskundigen.

## Publiceren

Wetenschappelijk werk draagt pas vrucht als de resultaten ervan worden gepubliceerd en op die manier onder de aandacht van collega-wetenschappers worden gebracht. Jarenlang werden wetenschappelijke artikelen met de hand geschreven en door secretaresses uitgetikt. Maar met de intrede van de tekstverwerker werden schrijven en uittikken steeds meer één, en ging de wetenschapper zelf aan de slag. De laatste stap in deze ontwikkeling werd een paar jaar geleden genomen: in plaats van een uitdraai op papier stuurt men het computerbestand van de tekst op, per *floppy disk* of via de elektronische post.

Die stap werd pas mogelijk met de ontwikkeling van het computerzetsysteem *TeX* (tau epsilon chi, uit te spreken als 'tech' of 'tek', maar niet als 'teks') door de wiskundige en informaticus Donald Knuth. Voor de ontwerpers van tekstverwerkers zijn wis-

kundige formules altijd een lastig probleem geweest. De meeste van die ontwerpers waren leken op het gebied van de wiskunde. Bij hun tekstverwerkers moet de auteur precies aangeven waar elk symbool moet staan en hoe groot het moet worden afgebeeld. Donald Knuth heeft als het ware wiskundige kennis in zijn zetsysteem ingebouwd. In *TeX* zijn wiskundige symbolen in categorieën ingedeeld, al naar gelang hun betekenis. Zo zijn er categorieën voor variabelen, voor operatoren, etc. Door deze 'kennis' van de wiskunde kan *TeX* een vergelijking precies zo vormgeven als een wiskundig onderlegde typograaf dat zou doen.

De doorsnee auteur gebruikt niet *TeX*, maar *LaTeX* (uit te spreken als 'la-tech' of 'lay-tek' ('*TeX* voor de leek'); maar niet zoals de muurverf!). In *LaTeX* is een groot aantal zaken voorgeprogrammeerd, waardoor de auteur veel problemen uit handen wordt genomen. Die zijn vooral van typografische aard, waardoor de auteur zich om vormgeving geen zorgen meer hoeft te maken. Wanneer het *LaTeX*-bestand van een manuscript (*compuscript* heet dat tegenwoordig) in een zetmachine wordt gevoerd, komt het er uit in de typografische vorm die karakteristiek is voor het tijdschrift van de betreffende uitgever. Dat is dan ook de reden waarom *LaTeX*-manuscripten tegenwoordig door vrijwel ieder sterrenkundig vakblad worden geaccepteerd.

De meest recente ontwikkeling op het gebied van publiceren is natuurlijk Internet, en dan met name het World Wide Web. Hierbij worden pagina's tekst niet alleen op de computer aangemaakt, maar ook met behulp van de computer geraadpleegd. De opmaaktaal voor Web-pagina's heet *HTML*, de *HyperText Markup Language*. Veel astronomen hebben zich die al eigen gemaakt, zoals blijkt uit de lijst van persoonlijke Web-pagina's van AstroWeb.

## Samenwerken

In alle fasen van het onderzoek zal de astronoom samenwerken, met collega's op hetzelfde instituut, maar vaak – en soms zelfs meer – met collega's van andere instituten elders ter wereld. Daarbij worden regelmatig werkbezoeken afgelegd, maar tussendoor speelt de informatie- en communicatietechnologie een belangrijke rol in het onderhouden van de contacten en het uitwisselen van onderzoeksresultaten. Elektronische post of *email* vervult op dit moment de belangrijkste rol. Brieven zijn vaak binnen een minuut aan de andere kant van de wereld, en het antwoord kan men meestal binnen een dag tegemoet zien, afhankelijk

van het tijdsverschil tussen afzender en ontvanger... Samen een artikel of zelfs een boek schrijven met iemand die bijvoorbeeld in Amerika woont en werkt is ook al geen probleem meer. Tegenwoordig gebruikt iedereen een tekstverwerker, dus stuur je gewoon het *compuscript* of delen daarvan heen en weer, en gaat verder waar de ander gebleven was.

Nu al zijn Web-browsers als de Internet Explorer en Netscape Navigator voorzien van mogelijkheden voor telefonie via Internet. Er bestaan ook systemen voor video-vergaderen via Internet, maar die stellen eisen aan de verbinding die maar op een paar trajecten in Europa, Noord-Amerika en daartussen gehaald worden. Deze ontwikkelingen maken het samenwerken op grote afstanden steeds gemakkelijker en goedkoper. Al blijft het voor een goede samenwerking natuurlijk nodig dat men elkaar met enige regelmaat persoonlijk ontmoet.

Het wijdverbreide gebruik van elektronische post deed behoefte ontstaan aan een telefoongids van email-adressen. Binnen de sterrenkunde wordt daarin voorzien door Chris Benn en Ralph Martin van het Royal Greenwich Observatory. In de sterrenkunde is er ook al een elektronische tegenhanger van de Gele Gids, en dat is de Star\*s Family van gidsen met allerlei informatie en adressen die voor astronomen van belang kunnen zijn. Ze worden onderhouden door Andre Heck van het CDS in Straatsburg.

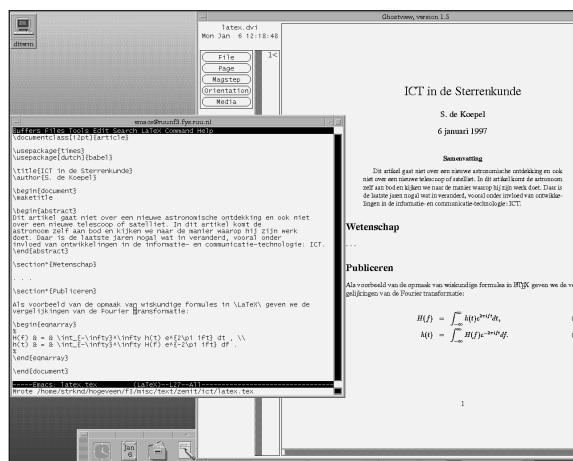
Zinvol is uiteraard ook informatie die samenwerking bevordert, zoals aankondigingen van conferenties en informatie van sterrenkundige verenigingen en organisaties. Ook informatie ten aanzien van het wetenschapsbeleid is beschikbaar. Een kiene astronoom weet via Internet precies welke mogelijkheden er zijn om Europese subsidies voor zijn onderzoek, reizen, post-docs of studenten binnen te halen.

## Onderwijs

Via het onderwijs wordt wetenschappelijke kennis doorgegeven aan de volgende generatie. Hoorcolleges, met de professor voor een zaal vol studenten, en gedrukte collegedictaten voeren daarin nog steeds de boventoon. Maar ook hier rukt de informatie- en communicatietechnologie op, zowel in het studiemateriaal als in het sterrenkundepracticum. Van dat laatste zijn de practicumopgaven van het CLEA-project een goed voorbeeld.

CLEA staat voor *Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy* en is een project van de faculteit natuurkunde van het Gettysburg College. (Gettysburg ligt in de staat Pennsylvania in de Verenigde Staten.) In

Sterrenkundige vaktijdschriften accepteren manuscripts die zijn aangemaakt met het document processing systeem LaTeX, dat is gebaseerd op het computer typesetting systeem TeX. Het linker venster toont wat de auteur intypt; het rechter het uiteindelijke resultaat. Waar het astronomen en uitgevers vooral om gaat is dat er geen tekstverwerkingssysteem bestaat dat wiskundige formules zo goed aan kan als TeX.



de 'interactieve' practicumopgaven worden onderwerpen behandeld als de beweging van de manen van Jupiter, de spectrale classificatie van sterren, en de uitdijing van het heelal. De opgaven zijn zeer realistisch vormgegeven. Bij de meeste krijgt de student een telescoop te bedienen waarmee de waarnemingen moeten worden verricht. Het richten van de telescoop op de juiste positie aan de hemel en het bepalen van belichtingstijden maken deel uit van de opdracht. Als de student vergeet het dak van de koepel open te maken, wordt hij daar meedogenloos aan herinnerd.

Maar ook het studiemateriaal dat de studenten kennis van de theoretische achtergronden van de astrofysica bij moet brengen komt langzamerhand in elektronische vorm beschikbaar. Het wordt daarmee levendiger dan gedrukt materiaal. De student moet met regelmaat vragen beantwoorden en kan op verschillende momenten zelf bepalen welke weg hij in het studiemateriaal wil volgen. Voorbeelden zijn Astronomy Notes, een inleiding in de sterrenkunde, het Galileo-project, Black Holes and Neutron Stars, The Nine Planets (een echte aanrader voor middelbare scholieren, amateurs en iedere andere geïnteresseerde) en NEMO – A Stellar Dynamics Toolbox. Het aanbod wordt steeds breder en gevarieerder: van onderhoudend voor een breed publiek tot zware kost voor sterrenkunde-studenten.

De studenten zijn trouwens zelf ook al de elektronische weg ingeslagen, met een Web-site voor *Students for the Exploration and Development of Space* (SEDS). Onlangs hebben leraren in het middelbaar onderwijs het initiatief genomen tot de oprichting van de European Association of Astronomy Education, die zich ten doel stelt het sterrenkunde-onderwijs te stimuleren en te verbeteren. Het initiatief wordt gesteund door de ESO en sterrenkundige instituten in de aangesloten landen, onder andere door computerfaciliteiten beschikbaar te stellen en toegang tot Internet te bieden.

## Ontwikkelingen

De ontwikkelingen op het gebied van de informatie- en communicatietechnologie in de wetenschappelijke informatievoorziening zijn hard gegaan. Zo hard, dat men bij wetenschappelijke instellingen nog nauwelijks de kans heeft gehad zich te realiseren wat er aan de hand is, laat staan om daarop te reageren. De ontwikkelingen zijn tot nu toe voornamelijk bepaald door de aanbieders van informatie: uitgevers, grote wetenschappelijke instellingen, etc. Die hebben ieder voor zich hun best gedaan de informatie waar zij verantwoordelijk voor zijn op een

overzichtelijke manier beschikbaar te maken. Maar tot nu toe heeft niemand zich bekommerd om het geheel, waardoor het voor de individuele wetenschapper moeilijk is zijn weg in het versnipperde aanbod te vinden.

Alom worden initiatieven ontplooid om in die situatie verbetering te brengen. Internationaal worden de ontwikkelingen met betrekking tot Internet gecoördineerd door de Internet Engineering Task Force, de Internet Society en het World Wide Web Consortium. Voor het inhoudelijk verbeteren van ICT-voorzieningen zijn stimuleringsprogramma's opgezet door de Europese gemeenschap. In academisch Nederland wordt de ICT-infrastructuur ontwikkeld en beheerd door de Stichting Universitaire Reken Faciliteiten, terwijl de stichting Pica zich bezig houdt met het elektronisch ontsluiten van de wetenschappelijke literatuur middels het WebDoc-project.

Om de ontwikkelingen te stimuleren en te sturen is een platform innovatie Wetenschappelijke Informatievoorziening in het leven geroepen.

Sterrenkunde is van oudsher een sterk internationaal georiënteerde wetenschap. Daarom is het van belang op de hoogte te zijn van mondiale ontwikkelingen en daarbij aansluiting te vinden. Op het gebied van de literatuur is de American Astronomical Society de *trend-setter*, met haar Electronic Publishing Project. Een platform waar de ontwikkelingen worden besproken en geëvalueerd zijn de conferenties over Library and Information Systems in Astronomy. In 1994 heeft de International Astronomical Union een werkgroep opgericht die de ontwikkelingen probeert te coördineren. Tijdens de 23ste General Assembly van de IAU, die dit jaar van 18 tot 30 augustus in Kyoto in Japan wordt gehouden, organiseert de werkgroep een *Joint Discussion* met als onderwerp: *Electronic Publishing: Now and the Future*.

Op het gebied van de reductie en analyse van waarnemingen, en de daarvoor noodzakelijke software, kan het Britse Starlink-project als voorbeeld dienen. Nergens ter wereld hebben astronomen op zo'n overzichtelijke manier zo'n brede collectie software tot hun beschikking. Het internationale platform op dit gebied wordt gevormd door

de jaarlijkse conferenties over Astronomical Data Analysis Software and Systems. Pogingen om in het aanbod als geheel structuur aan te brengen worden ondernomen in het kader van de AstroWeb en AstroBrowse projecten. Het eerste is gericht op het bieden van een overzicht van alle vakinhoudelijke ICT-voorzieningen en het tweede op een uniforme toegang tot het versnipperde aanbod.

Op dit moment is het een selecte groep *whizz-kids*, van voornamelijk jonge astronomen, die voor hun onderzoek optimaal weet te profiteren van de wetenschappelijke ICT-voorzieningen. Zij geven de conventioneel opererende concurrentie steeds vaker het nakijken. Sterrenkundige instituten beginnen zich bewust te worden van die ontwikkeling en proberen hun wetenschappers beter van de nieuwe voorzieningen te laten profiteren door hun informatie-infrastructuur daarop in te richten. Na de kantoorautomatisering, ten behoeve van administratieve taken, is het nu de automatisering van de wetenschappelijke werkplek die volop in de belangstelling staat.

Een 'elektronische versie' van dit artikel, met de nodige *links* naar relevante Webpagina's, kan men vinden op het volgende http-adres:

<http://www.astro.uu.nl/ict/>

*'Nine Planets' biedt een buitengewoon informatieve reis door het zonnestelsel en toont aan dat multimedia niet alleen maar 'hype' is.*

